

**Regulation of lectro-m chanical actuator**

Patent Number: DE19849036  
Publication date: 2000-05-04  
Inventor(s): VOGT THOMAS (DE); QUEISSER FRANK (DE)  
Applicant(s): SIEMENS AG (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19849036  
Application Number: DE19981049036 19981023  
Priority Number(s): DE19981049036 19981023  
IPC Classification: H01F7/18; F01L9/04  
EC Classification: H01F7/18, F01L9/04  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

The armature is mechanically coupled with a spring release and is movable between two surfaces on the electromagnet. The regulator controlled condition and reference input is the speed of the armature and the regulator provides a position signal for the actuator. A target value ( $V_{sol1}$ ) for the armature speed is determined dependent on its position and the sum of the kinetic and potential energy of the armature and the spring release. The sum is determined dependent on the distance of both surfaces from a rest position ( $S_0$ ) of the armature. The target value depends on the characteristic frequency of an oscillator formed by the armature and the spring release. The characteristic frequency depends on a characteristic frequency determined during an extinction of the armature. The characteristic frequency is determined dependent on the damping of the oscillator. The damping is determined from the change of amplitude of the oscillations of the armature and an ideal characteristic frequency is determined according to the damping and the characteristic frequency depending on the damping.

---

Data supplied from the esp@cenet database - 12

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 198 49 036 A 1

21 Aktenzeichen: 198 49 036.4  
22 Anmeldetag: 23. 10. 1998  
43 Offenlegungstag: 4. 5. 2000

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 F 7/18  
F 01 L 9/04

DE 198 49 036 A 1

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:  
Queisser, Frank, 93055 Regensburg, DE; Vogt,  
Thomas, 93049 Regensburg, DE

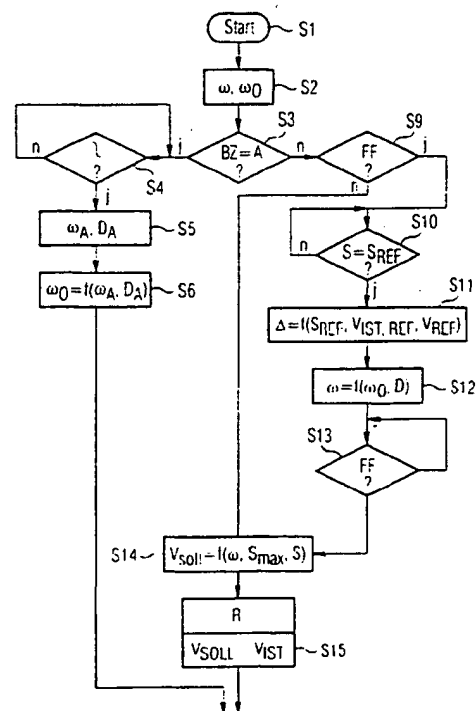
56 Entgegenhaltungen:  
DE 195 44 207 A1  
DE 195 18 056 A1  
DE-B.: "Taschenbuch der Physik", H. Kuchling,  
5. Aufl., Verlag Harri Deutsch, 1984,  
S. 274-275, 282-287;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Einrichtung zum Regeln eines elektromechanischen Stellantriebs

57 Ein Stellantrieb hat mindestens einen Elektromagneten und einen Anker, der mit mindestens einem Rückstellmittel mechanisch gekoppelt ist und der zwischen einer ersten Anlagefläche und dem Elektromagneten und einer weiteren Anlagefläche beweglich ist. Ein Regler ist vorgesehen, dessen Regel- und Führungsgröße die Geschwindigkeit des Ankers ist und der ein Stellsignal für den Stellantrieb erzeugt. Ein Sollwert ( $V_{SOLL}$ ) der Geschwindigkeit des Ankers wird abhängig von seiner Position und der Summe der kinetischen und potentiellen Energie des Ankers und des mindestens eines Rückstellmittels ermittelt.



E 198 49 036 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern eines elektromechanischen Stellantriebs, der insbesondere zum Steuern eines Gaswechselventils einer Brennkraftmaschine vorgesehen ist.

- 5 Ein bekanntes Stellgerät (DE 195 26 683 A1) hat ein Stellglied, das als Gaswechselventil ausgebildet ist, und einen Stellantrieb. Der Stellantrieb weist zwei Elektromagnete auf, zwischen denen jeweils gegen die Kraft eines Rückstellmittels eine Ankerplatte durch Abschalten des Spulenstroms am haltenden Elektromagneten und Einschalten des Spulenstroms am fangenden Elektromagneten bewegt werden kann. Der Spulenstrom des jeweils fangenden Elektromagneten wird auf einen vorgegebenen Iangwert geregelt und zwar während einer vorgegebenen Zeitdauer, die so bemessen ist, daß die Ankerplatte innerhalb der Zeitdauer auf eine Anlagefläche am fangenden Elektromagneten trifft. Anschließend wird der Spulenstrom des fangenden Elektromagneten auf einen Haltewert geregelt.

Immer strengere gesetzliche Grenzwerte zur Schallabstrahlung von Kraftfahrzeugen und Anforderungen nach leise laufenden Brennkraftmaschinen setzen für eine Serienfähigkeit des Stellantriebs zwingend voraus, daß die Schallerzeugung durch den Stellantrieb gering ist. Außerdem ist eine lange Lebensdauer des Stellantriebs sicherzustellen.

- 15 Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Einrichtung zum Steuern eines elektromechanischen Stellantriebs zu schaffen, das/die die Schallerzeugung beim Aufheften einer Ankerplatte eines Ankers auf einen Elektromagneten minimiert und gleichzeitig eine lange Lebensdauer des Stellantriebs gewährleistet.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

- 20 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind anhand der schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Anordnung eines Stellantriebs und einer Steuereinrichtung in einer Brennkraftmaschine,

Fig. 2 die Position  $s$  der Ankerplatte 116 aufgetragen über die Zeit  $t$  während des Betriebszustands des Ausschwingens

Fig. 3 ein Ablaufdiagramm zum Regeln des elektromechanischen Stellantriebs 11.

- Ein Stellgerät 1 (Fig. 1) umfaßt einen Stellantrieb 11 und ein Stellglied 12, das bevorzugt als Gaswechselventil ausgebildet ist und einen Schaft 121 und einen Teller 122 hat. Der Stellantrieb 11 hat ein Gehäuse 111, in dem ein erster und ein 25 zweiter Elektromagnet angeordnet sind. Der erste Elektromagnet hat einen ersten Kern 112, in den in einer ringförmigen Nut eine erste Spule 113 eingebettet ist. Der zweite Elektromagnet hat einen zweiten Kern 114, in den in einer weiteren ringförmigen Nut eine zweite Spule 115 eingebettet ist. Ein Anker ist vorgesehen, dessen Ankerplatte 116 in dem Gehäuse 111 beweglich zwischen einer ersten Anlagefläche 115a des ersten Elektromagneten und einer zweiten Anlagefläche 115b des zweiten Elektromagneten angeordnet ist. Die Ankerplatte 116 ist somit beweglich zwischen einer Schließposition  $s_{\max S}$  und einer Offenposition  $s_{\max O}$ . Der Anker umfaßt desweiteren einen Ankerschaft 117, der durch Ausnehmungen des ersten und zweiten Kerns 114 geführt ist und der mit dem Schaft 121 des Stellglieds 12 mechanisch koppelbar ist.

- Ein erstes Rückstellmittel 118a und zweites Rückstellmittel 118b, die vorzugsweise als Federn ausgebildet sind, spannen die Ankerplatte 116 in eine vorgegebene Ruheposition so vor. Ein Positionssensor 119 ist derart an oder in dem Stellantrieb angeordnet, daß er mittelbar oder unmittelbar die Position der Ankerplatte und des Ankerschafts 117 erfaßt. Das Stellgerät 1 ist mit einem Zylinderkopf 21 starr verbunden. Dem Zylinderkopf 21 ist ein Ansaugkanal 22 und ein Zylinder 23 dem einem Kolben 24 zugeordnet. Der Kolben 24 ist über eine Pleuelstange 25 mit einer Pleuelwelle 26 gekoppelt.

- 40 Eine Steuereinrichtung 3 ist vorgesehen, die das Signal des Positionssensors 119 und gegebenenfalls weiterer Sensoren erfaßt und die gegebenenfalls mit einer übergeordneten Steuereinrichtung für Motorbetriebfunktionen kommuniziert und von dieser Steuersignale empfängt und die in Abhängigkeit von diesen Signalen die erste und zweite Spule 113, 115 des Stellantriebs 11 steuert. Die Steuereinrichtung 3 umfaßt ferner eine Steuereinheit 31, in der die Stellsignale für die Spulen 113, 115 berechnet werden, und eine erste Leistungsstufe 32 und eine zweite Leistungsstufe 33, die die 45 Stellsignale verstärken.

Die Rückstellmittel 118a und 118b, der Anker mit der Ankerplatte 116 und dem Ankerschaft 117 und das als Gaswechselventil ausgebildete Stellglied 12, falls das Stellglied 12 mit dem Ankerschaft 117 gekoppelt ist, bilden einen Schwingen (Feder-Masseschwinger). Unter der Annahme eines idealen also verlustlosen Feder-Masseschwingers gilt für die Gesamtenergie:

$$50 \quad E_{ges} = E_{kin} + E_{pot} = \frac{m}{2} v^2 + \frac{c}{2} s^2 = konst. \quad (F1)$$

wobei

- 55  $E_{ges}$  die Gesamtenergie,  
 $E_{kin}$  die kinetische Energie,  
 $E_{pot}$  die potentielle Energie,  
 $m$  die Masse der bewegten Teile, also des Ankers und gegebenenfalls des Stellglieds,  
 $c$  die Federkonstante der Rückstellmittel 118a, 118b und  
 60  $v$  die Geschwindigkeit des Ankers  
 bezeichnen.

Aufgelöst nach der Geschwindigkeit  $v$  erhält man aus (F1):

$$65 \quad v(s) = \sqrt{\frac{c}{m}} \cdot \sqrt{\frac{2}{c} E_{ges} - s^2} \quad (F2)$$

Befindet sich die Ankerplatte 116 an einer der Anlageflächen 115a, 115b, so ist die Geschwindigkeit und damit die ki-

neutische Energie des Ankers gleich null. Für Gesamtenergie gilt somit der einfache Ansatz:

$$E_{ges} = \frac{c}{2} s_{max}^2, \text{ für } s = \pm s_{max} \quad (F3)$$

wobei

$s_{max}$  der Abstand der Schließposition  $s_{maxS}$  und der Offenposition  $s_{maxO}$  von der Ruheposition  $s_0$  ist.

Die Beziehung (F3) eingesetzt in (F2) ergibt

$$v(s) = \omega_0 \cdot \sqrt{s_{max}^2 - s^2} \quad (F4)$$

mit

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}} \quad (F5),$$

wobei

$\omega_0$  die ideale Eigenfrequenz des verlustlosen Feder-Masseschwingers ist. Tatsächlich hat der Feder-Masseschwinger jedoch auch eine Dämpfung  $D$ , die sehr stark abhängt von Einflußgrößen wie der Temperatur, des Gasdrucks in dem Zylinder 23 und dem Ansaugtrakt 22 oder einem nicht dargestellten Abgasrakt. Demnach gilt für die Geschwindigkeit entsprechend der Beziehung F4

$$v(s) = \omega \cdot \sqrt{s_{max}^2 - s^2} \quad (F6),$$

wobei

$\omega$  die Eigenfrequenz ist, die abhängt von der idealen Eigenfrequenz  $\omega_0$  und der jeweils für die aktuellen Betriebsbedingungen gültigen Dämpfung  $D$ .

Die ideale Eigenfrequenz  $\omega_0$  läßt sich besonders einfach und präzise während eines Betriebszustands des Ausschwingens bestimmen. Der Stellantrieb ist in dem Betriebszustand des Ausschwingens, also wenn keine der Spulen 113 und 115 mehr bestromt werden, nachdem sich die Ankerplatte 116 in Anlage mit der ersten Anlagefläche 115a oder der zweiten Anlagefläche 115b befunden hat, und zwar bis die Ankerplatte 116 stationär in der Ruheposition  $s_0$  ist. Dieser Betriebszustand wird bei einer Brennkraftmaschine beispielsweise eingenommen, wenn die Zündung von dem Fahrer abgeschaltet worden ist. Ein derartiges Ausschwingen ist in der Fig. 2 dargestellt. In dem Betriebszustand des Ausschwingens läßt sich für den zeitlichen Verlauf der Position  $s$  der Ankerplatte folgende Beziehung ansetzen:

$$s = s_{max} \cdot e^{-D_A t} \cdot \cos(\omega t), \omega = \sqrt{\omega_0^2 - D_A^2} \quad (F7)$$

$D_A$  bezeichnet die Dämpfung während des Ausschwingens. Falls das Ausschwingen ausgeht von einer Anlage der Ankerplatte an der ersten Anlagefläche 115a, so wird jeweils die Position  $s_1$  des ersten Minimums während des Ausschwingens und der zugehörige Zeitpunkt  $t_1$  und die Position  $s_2$  des zweiten Minimums während des Ausschwingens und der zugehörige Zeitpunkt  $t_2$  erfaßt und es gilt für  $s_1$  und  $s_2$ :

$$s_1 = s_{max} \cdot e^{-D_A t_1} \quad (F8)$$

$$s_2 = s_{max} \cdot e^{-D_A t_2} \quad (F9)$$

Falls das Ausschwingen ausgeht von einer Anlage der Ankerplatte an der zweiten Anlagefläche 115b, so wird entsprechend jeweils die Position des ersten Maximums während des Ausschwingens und der zugehörige Zeitpunkt und die Position des zweiten Maximums während des Ausschwingens und der zugehörige Zeitpunkt erfaßt.

Aus den Beziehungen (F8) und (F9) ergibt sich:

$$\frac{e^{-D_A t_1}}{e^{-D_A t_2}} = \frac{s_1}{s_2} \quad (F10)$$

Aus der Beziehung (F10) ergibt sich für die Dämpfung  $D_A$  während des Ausschwingens:

$$D_A = \ln\left(\frac{s_2}{s_1}\right) \cdot \frac{1}{t_1 - t_2} \quad (F11)$$

Für die Eigenfrequenz unter Berücksichtigung der Dämpfung während des Ausschwingens gilt der Ansatz:

$$\omega_A = 2\pi \frac{1}{t_2 - t_1} \quad (F12)$$

Für die ideale Eigenfrequenz läßt sich der folgende Ansatz machen:

$$\omega_0^2 = D_A^2 + \omega_A^2 \quad (F13)$$

Soll die Ankerplatte 116 von der Anlage an einer der Anlageflächen 115a, 115b zur Anlage mit der jeweils anderen Anlagefläche 115a, 115b gebracht werden, so wird der Strom der Spule, die dem Elektromagneten zugeordnet ist und dessen Anlagefläche die Ankerplatte 116 anliegt abgeschaltet und die Ankerplatte beginnt sich nach einer vorgegebenen Klebezeit von der Anlagefläche zu lösen und schwingt in Richtung auf die andere Anlagefläche, wobei dann die Spule dieser anderen Anlagefläche entsprechend bestrahlt wird, um die Ankerplatte 116 in Anlage mit der Anlagefläche zu bringen. Innerhalb eines vorgegebenen Bereichs der Bewegung der Ankerplatte von der Position  $s_{\max O}$  hin zu der Position  $s_{\max O}$  oder umgekehrt wirkt jedoch keine Kraft auf die Ankerplatte ein, die hervorgerufen ist durch den ersten oder zweiten Elektromagneten. Dieser Bereich des Fluges der Ankerplatte wird als Freiflug FF bezeichnet. Es gelten dann folgende Beziehungen:

$$v_{IST,REF}^2 = \omega^2 \cdot (s_{\max}^2 - s_{REF}^2) \quad (F16)$$

$$v_{REF}^2 = \omega_0^2 (s_{\max}^2 - s_{REF}^2) \quad (F17),$$

wobei  $s_{REF}$  eine vorgegebene Referenzposition des Freiflugs ist,  $v_{IST,REF}$  der Istwert der Geschwindigkeit bei der Referenzposition  $s_{REF}$  ist, der durch Differenzieren des Meßsignals des Positionssensors 119 ermittelt wird und  $v_{REF}$  ein vorgegebener Referenzwert der Geschwindigkeit bei der Referenzposition ist und zwar unter der Annahme, daß keine Dämpfung vorhanden ist. Daraus ergibt sich für die Eigenfrequenz  $\omega$  im aktuellen Betriebszustand

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \frac{v_{REF}^2 - v_{IST,REF}^2}{s_{\max}^2 - s_{REF}^2} \quad (F18)$$

Mit

$$D^2 = \frac{v_{REF}^2 - v_{IST,REF}^2}{s_{\max}^2 - s_{REF}^2} \quad (F19)$$

ergibt sich aus (F18):

$$\omega^2 = \omega_0^2 - D^2 \quad (F20)$$

In Fig. 3 ist ein Ablaufdiagramm zum Ermitteln der Stellsignale für den Stellantrieb 11 dargestellt. Das Ablaufdiagramm ist in Form eines Programms in der Steuereinrichtung 3 gespeichert und wird dort abgearbeitet. Das Programm wird in einem Schritt S1 gestartet. In einem Schritt S2 werden die Eigenfrequenz  $\omega$  und die ideale Eigenfrequenz  $\omega_0$  aus einem Speicher eingelesen. Die Eigenfrequenz  $\omega$  und die ideale Eigenfrequenz  $\omega_0$  sind entweder in einem vorausgegangenem Durchlauf des Programms berechnet worden oder liegen als vorgegebene Werte vor, falls der Stellantrieb erstmalig in Betrieb genommen wird oder repariert worden ist.

In einem Schritt S3 wird geprüft, ob der Stellantrieb in einem Betriebszustand BZ des Ausschwingens A ist. In dem Betriebszustand des Ausschwingens A schwingt die Ankerplatte 116 ausgehend von einer Anlage an der ersten oder zweiten Anlagefläche zwischen der Schließposition  $s_{\max S}$  und der Offenposition  $s_{\max O}$  hin und her, bis sie stationär die Ruheposition  $s_0$  einnimmt. In dem Betriebszustand des Ausschwingens werden weder die erste Spule noch die zweite Spule bestrahlt. Somit wirken keine Kräfte auf den Anker ein, die durch die Elektromagnete hervorgerufen sind.

In einem Schritt S4 wird geprüft, ob die Ankerplatte mindestens eine Halbschwingung durchgeführt hat. Die Bedingung des Schritts S4 ist beispielsweise dann erfüllt, wenn die Ankerplatte 116 von ihrer ursprünglichen Anlage an der Schließposition  $s_{\max}$  annähernd hin zu der Offenposition  $s_{\max O}$  geschwungen ist. Ist dies der Fall, so gibt das Gaswechselventil und die Ausnehmung in dem Zylinderkopf von dem Inneren des Zylinders 23 hin zu dem Ansaugtrakt 22 oder einem Abgaskanal frei und eine Druckdifferenz zwischen dem Druck in dem Zylinder und einem Druck in dem Abgaskanal oder dem Ansaugtrakt 22 wird stark verringert. Damit nimmt die Summe der Gaskräfte ab, die auf den Teller 112 des Gaswechselventils wirken. Die Summe der Gaskräfte ist nach der ersten Halbwelle dann vernachlässigbar. Diese Kräfte stellen eine Störgröße bei der Berechnung der idealen Eigenfrequenz  $\omega_0$  dar. Ist die Bedingung des Schritts S4 erfüllt, so ist der Einfluß der letztgenannten Störgröße gering.

In einem Schritt S5 wird durch Auswerten der gemessenen Positionen und erfaßten Zeitpunkten mit den Beziehungen (F11) und (F12) die Dämpfung  $D_A$  und Eigenfrequenz  $\omega_A$  während des Ausschwingens berechnet. In einem Schritt S6 wird anschließend die ideale Eigenfrequenz  $\omega_0$  mit der Beziehung (F13) berechnet.

In einem Schritt S7 wird das Programm dann beendet. Das Programm wird dann nach einer vorgegebenen Wartezeitdauer oder wenn ein vorgegebenes Ereignis eintritt erneut in dem Schritt S1 gestartet.

Ist in dem Schritt S3 der Betriebszustand des Stellantriebs nicht der des Ausschwingens A, so wird in einem Schritt S9 geprüft, ob die Ankerplatte 116 im Freiflug FF ist. Die Ankerplatte ist bei jedem Wechsel von der Schließposition  $s_{\max}$

hin zu der Offenposition  $s_{\text{maxO}}$  innerhalb eines vorgegebenen Bereichs im Freiflug. Der vorgegebene Bereich ist der Bereich, in dem die Kräfte vernachlässigbar sind, die durch die Elektromagnete auf den Anker ausgeübt werden. Innerhalb dieses Bereichs kann einfach die unter den aktuell herrschenden Betriebsbedingungen vorliegende Dämpfung die bestimmt werden. Dazu wird in einem Schritt S10 geprüft, ob die Position  $s$  der Ankerplatte **116** gleich ist einer vorgegebenen Referenzposition  $s_{\text{REF}}$ . Ist dies nicht der Fall, so wird nach einer vorgegebenen Wartezeit die Bedingung des Schritts S10 erneut geprüft. Ist dies hingegen der Fall, so wird in einem Schritt S11 die aktuelle Dämpfung  $D$  abhängig von den Beziehungen (F16), (F17) und (F19) ermittelt.  $s_{\text{REF}}$  ist die vorgegebene Referenzposition,  $v_{\text{REF}}$  ist die zu der Referenzposition  $s_{\text{REF}}$  durch Versuche oder Simulation oder Berechnung ermittelte Geschwindigkeit des Ankers, falls keine Dämpfung vorhanden ist.  $v_{\text{IST,REF}}$  ist der Istwert der Geschwindigkeit bei der Referenzposition  $s_{\text{REF}}$  der durch Ableitung der durch den Positionssensor **119** erfaßten Position ermittelt wird.

In einem Schritt S12 wird eine Eigenfrequenz  $\omega$  mit der Beziehung (F20) ermittelt.

In einem Schritt S13 wird geprüft, ob der Anker weiterhin im Freiflug ist oder auch ob die Position des Ankers einen vorgegebenen Schwellenwert erreicht hat. Ist die Bedingung des Schritts S13 erfüllt, so wird die Bearbeitung in einem Schritt **14** fortgesetzt. Ist dies jedoch nicht der Fall, so wird nach einer vorgegebenen Wartezeit die Bedingung des Schritts S13 erneut geprüft. In dem Schritt S14 wird ein Sollwert  $V_{\text{SOLL}}$  mit der Beziehung

$$v_{\text{SOLL}} = \omega \cdot \sqrt{s_{\text{max}}^2 - s^2} \quad \text{F21}$$

ermittelt.

In einem Schritt S15 erzeugt ein Regler ein Stellsignal für den Stellantrieb abhängig von der Differenz des Sollwertes und des Istwertes  $V_{\text{SOLL}}$ ,  $V_{\text{IST}}$  der Geschwindigkeit. Der Regler ist vorzugsweise als PI-Regler ausgebildet und das Stellsignal ist vorzugsweise ein Spannungssignal oder Stromsignal, mit dem die Spule des jeweils fangenden Elektromagneten beaufschlagt wird.

Durch das bei jedem Programmdurchlauf erfolgende Berechnen des Sollwertes  $V_{\text{SOLL}}$  der Geschwindigkeit im Schritt S14 ist gewährleistet, daß die Ankerplatte nahezu mit der Geschwindigkeit null auf die jeweilige Anlagefläche trifft. Somit erzeugt das Auftreffen der Ankerplatte **116** auf eine der Anlageflächen **115a**, **115b** nur einen sehr geringen Schall.

Vorzugsweise wird die von dem Positionssensor **119** erfaßte Position  $s$  mit einer vorgegebenen Abtastzeit (z. B. 50  $\mu\text{sec}$ ) erfaßt und anschließend in einem Filter gefiltert, das vorzugsweise als FIR-Filter ausgebildet ist. Zum Berechnen des Istwertes  $V_{\text{IST}}$  der Geschwindigkeit ist vorzugsweise ein Differenzierer vorgesehen, der die gefilterte Position differenziert.

Das Programm gemäß Fig. 3 zeichnet sich aus durch eine kurze Rechenzeit und seine Einfachheit. Nur wenige Parameter müssen vor dem Betrieb des Stellantriebs eingestellt werden und es sind keine Kennfelder vorhanden. Dies hat den Vorteil, daß ein kostengünstiger Mikroprozessor und kleiner Datenspeicher vorgesehen sein kann. In einer alternativen Ausführungsform kann das Programm auch in einem sogenannten Field Programmable Gate Array (FPGA) realisiert sein. Bei einem Einsatz des Stellantriebs in einer Brennkraftmaschine sind gewöhnlicherweise mehrere derartige Stellantriebe einzeln durchgeführt. Dies hat den Vorteil, daß fertigungsbedingte und durch Alterung herrührende Toleranzen und Ungenauigkeiten des Stellantriebs für jeden Stellantrieb einzeln korrigiert werden können.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln eines elektromechanischen Stellantriebs (**11**) mit mindestens einem Elektromagneten und einem Anker, der mit mindestens einem Rückstellmittel (**118a**, **118b**) mechanisch gekoppelt ist und der zwischen einer ersten Anlagefläche (**115a**) an dem Elektromagneten und einer weiteren Anlagefläche (**115b**) beweglich ist, wobei ein Regler (R) vorgesehen ist, dessen Regel- und Führungsgröße die Geschwindigkeit des Ankers ist und der ein Stellsignal für den Stellantrieb (**11**) erzeugt, bei dem
  - ein Sollwert ( $v_{\text{SOLL}}$ ) der Geschwindigkeit des Ankers abhängig von seiner Position ( $s$ ) und der Summe der kinetischen und potentiellen Energie des Ankers und des mindestens einen Rückstellmittels (**118a**, **118b**) ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe der kinetischen und potentiellen Energie geschätzt wird abhängig von dem Abstand der beiden Anlageflächen von einer Ruheposition ( $s_0$ ) des Ankers.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert ( $v_{\text{SOLL}}$ ) abhängt von der Eigenfrequenz ( $\omega$ ) eines Schwingers, der durch den Anker und das mindestens eine Rückstellmittel (**118a**, **118b**) gebildet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Eigenfrequenz abhängt von einer idealen Eigenfrequenz ( $\omega_0$ ), die während eines Betriebszustands (BZ) des Ausschwingens (A) des Ankers ermittelt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß während des Betriebszustands (BZ) des Ausschwingens (A)
  - eine Eigenfrequenz ( $\omega_A$ ) unter Berücksichtigung der Dämpfung des Schwingers ermittelt wird,
  - die Dämpfung ( $D_A$ ) des Schwingers aus der Veränderung der Amplituden der Schwingungen des Ankers ermittelt wird und
  - die ideale Eigenfrequenz ( $\omega_0$ ) ermittelt wird abhängig von der Dämpfung ( $D_A$ ) und der Eigenfrequenz ( $\omega_A$ ) unter Berücksichtigung der Dämpfung.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Schritte des Anspruchs 5 frühestens nach der ersten Halbperiode der Schwingung des Ankers während des Betriebszustands (BZ) des Ausschwingens (A) durchgeführt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Eigenfrequenz ( $\omega$ ) abhängt von einem Schätzwert ( $D$ ) der Dämpfung außerhalb des Betriebszustands des Ausschwingens (A) und daß der Schätz-

wert (D) der Dämpfung des Schwingers während des Freiflugs (FF) des Ankers bestimmt wird, wobei der Freiflug (FF) dadurch charakterisiert ist, daß die Kraft vernachlässigbar ist, die durch den Elektromagneten auf den Anker ausgeübt wird.

8. Einrichtung zum Regeln eines elektromechanischen Stellantriebs (11) mit mindestens einem Elektromagneten und einem Anker, der mit mindestens einem Rückstellmittel (118a, 118b) mechanisch gekoppelt ist und der zwischen einer ersten Anlagefläche (115a) an dem Elektromagneten und einer weiteren Anlagefläche (115b) beweglich ist, wobei ein Regler (R) vorgesehen ist, dessen Regel- und Führungsgröße die Geschwindigkeit des Ankers ist und der ein Stellsignal für den Stellantrieb (11) erzeugt, und ein Sollwert ( $v_{SOLL}$ ) der Geschwindigkeit des Ankers abhängt von seiner Position (s) und der Summe der kinetischen und potentiellen Energie des Ankers und des mindestens einen Rückstellmittels (118a, 118b).

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



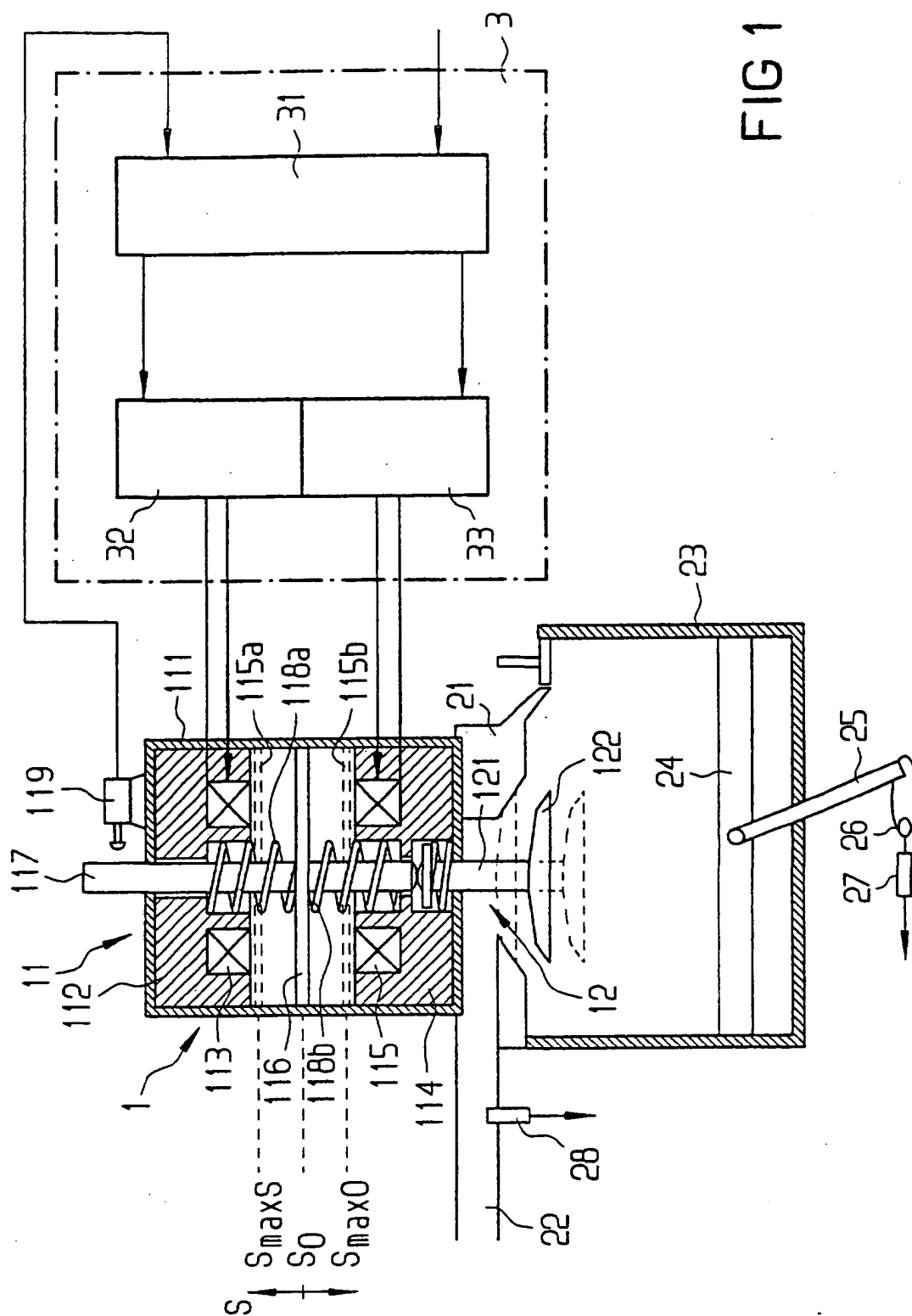


FIG 1

FIG 2

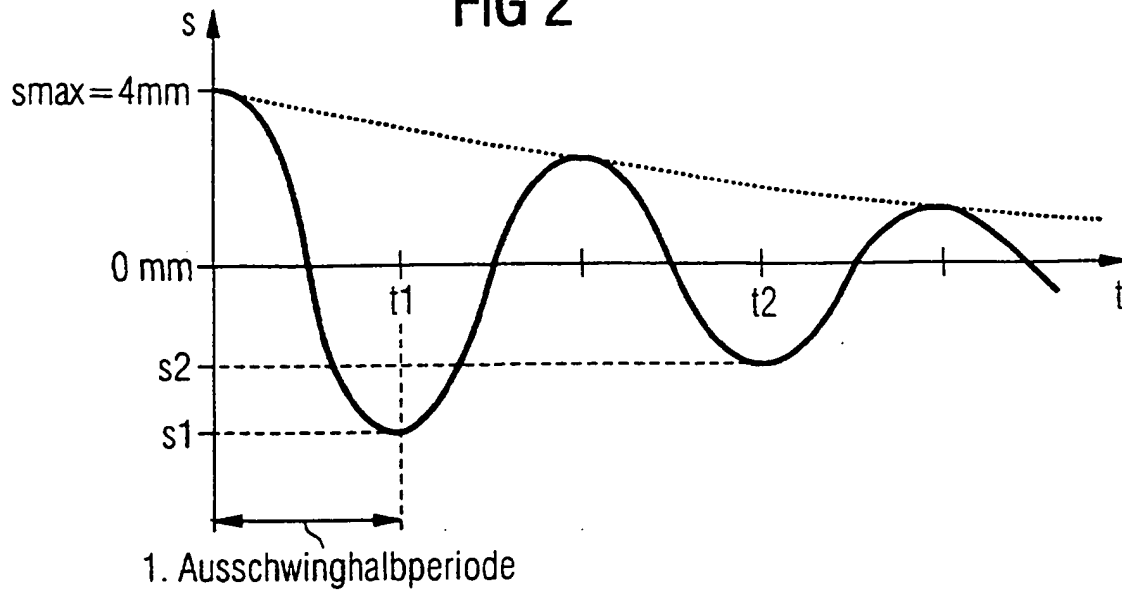


FIG 3

